

Flisning av buntade träddeklar från klen gallring

Chipping of bundled tree-parts from early thinnings



Foto: Jacob Gabrielsson

Axel Bengtsson & Jacob Gabrielsson



Kandidatarbeten i Skogsvetenskap

Fakulteten för skogsvetenskap,
Sveriges lantbruksuniversitet

Enhet/Unit	Institutionen för skogens ekologi och skötsel Department of Forest Ecology and Management
Författare/Author	Axel Bengtsson & Jacob Gabrielsson
Titel, Sv	Flisning av buntade träddelar från klen gallring
Titel, Eng	<i>Chipping of bundled treeparts from early thinnings</i>
Nyckelord/ Keywords	Biobränslen, Biobränslegallring, Primära skogsbränslen, Kvalitet, Produktivitet <i>Biofuels, Biofuel thinning, Primary forestfuels, Quality, Productivity</i>
Handledare/ Supervisor	Dan Bergström, Institutionen för skogens biomaterial och teknologi / <i>Department of Forest Biomaterial and Technology</i>
Examinator/Examiner	Tommy Mörling Institutionen för skogens ekologi och skötsel/ Department of Forest Ecology and Management
Kurstitel/Course	Kandidatarbete i skogsvetenskap Bachelor Degree in Forest Science
Kurskod	EX0592
Program	Jägmästarprogrammet
Omfattning på arbetet/	15 hp
Nivå och fördjupning på arbetet	G2E
Utgivningsort	Umeå
Utgivningsår	2015

Förord

Arbetet är en studie som behandlar flisning av buntade träddelar från förstagallring. Under arbetets gång har det varit många inblandade parter.

Vi vill tacka för all hjälp vi fått under arbetets gång:

Mikael Forsman, Norraskogsägarna för hjälp med koordinering av personal och maskiner.

Per Johansson, Norrlandsjord Miljö AB som var kontaktperson hos entreprenören.

Gunnar Kalen, Biobränsletekniskt Centrum, för hjälp vid analys av det flisade materialet.

Carina Jonsson, SLU för hjälp vid analys av askhalt

Ett särskilt tack till

Vår handledare Dan Bergström, SLU som tålmodigt ställt upp och hjälpt oss under arbetets gång samt Raul Fernandez Lacruz, SLU för all hjälp vid planering inför tidsstudien.

April 2015

Axel Bengtsson & Jacob Gabrielsson

SAMMANFATTNING

Syftet med studien var att mäta produktivitet vid flisning av buntade träddeklar från klen gallring. För att mäta produktiviteten genomfördes en tidsstudie vid flisning av buntade träddeklar. Studien innefattar även olika kvalitetsvariabler för bränsleflis så som fukthalt, askhalt och fraktionsfördelning. Analyserna genomfördes på Biobränsletekniskt Centrum (BTC), där angivelserna enligt svensk standard för analysering av de olika kvalitetsvariablerna följdes.

Buntarna som användes i studien var lagrade på Umeå kommuns terminal på Ersmarksberget. Det var även här flisningsstudien ägde rum. Efter invägning placerades buntarna i tre olika högar med ca 25 ton i vardera hög. Tidsstudie genomfördes som en frekvensstudie med tre upprepningar. Provtagning av flis togs direkt efter flisning för att senare analysera kvalitetsvariablerna.

Systemet studerades i totalt ca 1,4 G_0 -timmar och den effektiva flisningstiden uppgick till 82 % av G_0 -tiden. Arbetsmomentet som upptog störst tidsåtgång var krancykelarbetet som stod för ca 63 % av den totala tidsåtgången. Av totala antalet hanterade buntar var ca 9 % sedan tidigare sönder, eller gick sönder under försöket. Produktiviteten uppgick i medeltal till 55 ton per G_0 -timme vilket motsvarar ca 29 ton TS/ G_0 -timme.

Den effektiva flisningstiden i vårt försök var ca 16 procentenheter högre än vad erhöles vid en liknande studie som genomfördes 2014. Skillnad i effektiv flisningstid beror troligtvis på att den tidigare studien använde sig av ett "hett" system som är beroende av lastväxelbil. Resultatet för produktiviteten vid flisning av buntade träddeklar från vår studie var något lägre än en studie som flisade träddeklar vilket främst beror på att medelvolymer för de enskilda träddeklarna var högre i den tidigare studien.

Nyckelord: Biobränslen, Biobränslegallring, Primära skogsbränslen, Kvalitet, Produktivitet

SUMMARY

The purpose with the study was to measure the productivity of bundled tree parts from early thinings. To measure productivity a time study was carried out for chipping of bundled tree parts. The study also contains different quality variables of the produced chips, such as moisture content, ash content and fraction distribution. The analysis were performed at the Biofuel technical Center, and Swedish standards for the different quality variables were followed.

The bundles treeparts was stored at a terminal at Ersmarksberget in Umeå municipality. It was at this terminal the chipping study was performed. After the weigh-in, the bundled treeparts was sorted into three different piles with about 25 ton in each one. The time study was performed as a frequency study with three repeats. Samplings of chips were taken directly after chipping in order to determine the quality variables.

The system was studied in a total of 1,4 G_0 -hours and the effective chipping time was about 82 % of G_0 -time. The working element which occupied the greatest duration was cranecycle work which accounted for about 63 % of the total time spent. Of the total number of managed bundles were approximate 9 % previously broken or broke during the study. The productivity for raw ton was about 55 ton/ G_0 -hour, which corresponds to 29 ton dry mass/ G_0 -hour.

The efficient chippingtime was about 16 percentage points higher then what were received in a similar study carried out in 2014. The difference in effective chippingtime probably depends on that the earlier study used a “hot” system which is dependent of a load carrier vehicle. The results for chipping productivity of bundled treeparts from our study were slightly lower then another chipping study of treeparts, which foremost depends on that the mean volume for the single treeparts were higher in the earlier study.

Keywords: Biofuels, Biofuel thinning, Primary forestfuels, Quality, Productivity

INLEDNING

Översikt av energiläget i Sverige

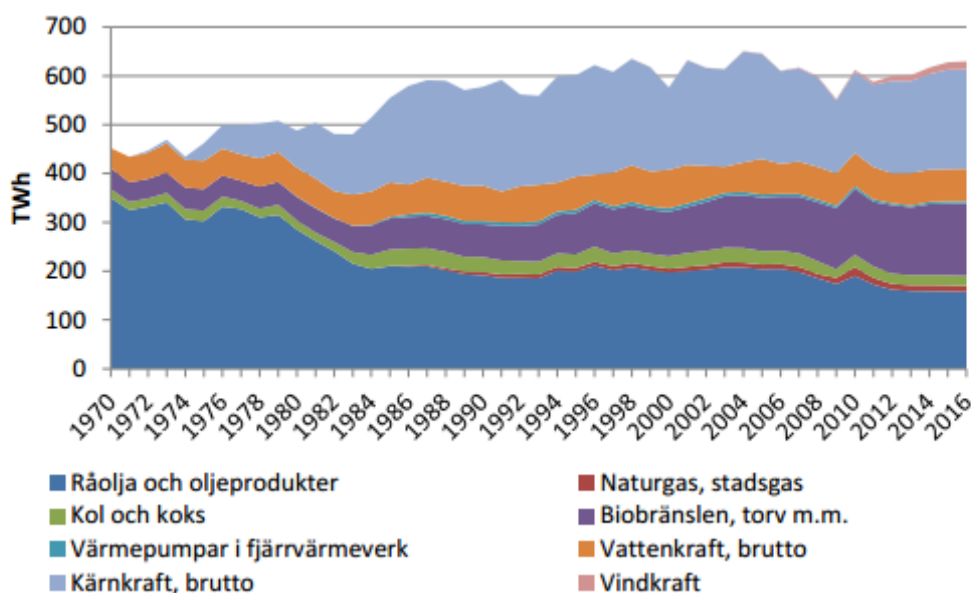
Förnyelsebara energikällor, inkluderat biobränslen, är ett sortiment som blir allt mer aktuellt att utnyttja vid omställning till ett fossilfritt och hållbart samhälle (Gode et al 2012). Sverige har antagit en rad olika mål för att förbättra klimatet såväl på nationell som internationell nivå.

På nationell nivå finns det 16 uppsatta miljömål vilka bland annat innefattar begränsad klimatpåverkan (Naturvårdsverket 2014).

Vad gäller internationell nivå finns EU:s miljömål som ska vara uppnådda 2020. Dessa mål innebär bland annat att ”utsläppen av växthusgaser ska vara 20 % lägre än de var 1990” och att ”20 % av energin ska komma från förnybara energikällor” (Europeiska kommissionen 2015).

Målen som definierats gäller på EU-nivå och specifika mål för varje enskilt land har också definierats efter ländernas förutsättningar. För Sveriges del finns en rad högt uppsatta mål exempelvis har man åtagit sig att öka andelen förnybar energi till 49 % år 2020 (Regeringskansliet 2014).

För att uppnå de ovan nämnda miljömålen är biobränslen en viktig del. Sveriges totala energitillförsel uppgick 2012 till ca 578 TWh, av detta utgjorde biobränslen ca 20 % (Energimyndigheten, 2014) (Figur 1).



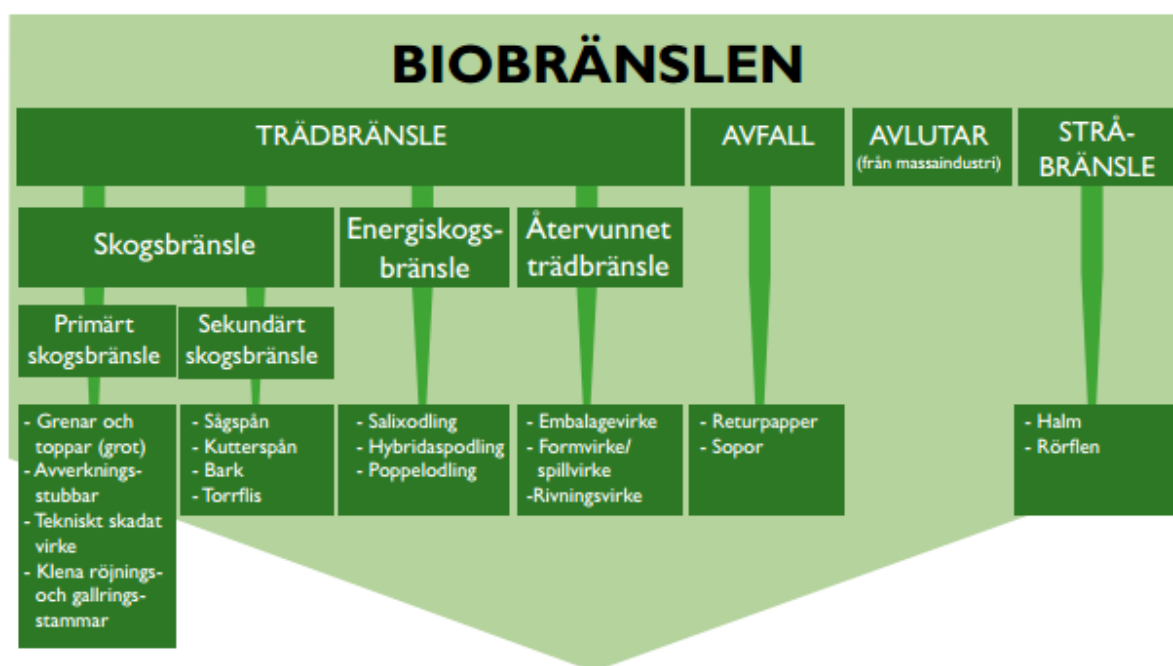
Figur 1: Sveriges totala energitillförsel (exklusive nettoimport av el) 1970-2013 samt prognos för 2014-2016 (TWh) (Källa: Energimyndigheten, 2014)

Figure 1. Sweden's total energysupply (exclusive net import of electricity) during 1970-2013 and forecast for 2014-2016 (TWh) (Source: Swedish Energy Agency, 2014)

Skogsbränslesortiment

Energisortimentet biobränslen är ett brett begrepp och innefattar såväl direkt och indirekt bränsle från skogen till avfall från hushåll och industri (figur 2). Av Sveriges totala energitillförsel 2010 kom ca 17 TWh från primärt skogsbränsle (Skogforsk 2011).

Vid förädling av rundvirke vid industri (sågverk och massa/pappersbruk) genereras fasta biprodukter i form av sekundära skogsbränslen (Figur 2). Dessa sekundära skogsbränslen utgör en stor del av det biobränsle som ingår i Sveriges energitillförsel. Sett till total energitillförsel för Sverige kommer fasta biprodukter från förädling inte öka inom den närmaste 10 års perioden (Skogsstyrelsen 2008). Vid en ökad efterfrågan på skogsbränsle skulle detta innebära att man tvingas till en intensifiering av utnyttjandet från andra sortiment, exempelvis primärt skogsbränsle. Potentialen för uttag av primära skogsbränslen möter dock en rad olika restriktioner vilka begränsar utbudet och bidrar till att sortimentet inte utnyttjas till sin fulla potential (Egnell 2013). Begränsningarna utgörs av ekonomisk, teknisk, ekologisk, social och fysisk maxpotential.



Figur 2. Indelning av biobränslen (Källa: Egnell 2013)
Figure 2. Classification of biofuel (Source: Egnell 2013)

Potential för uttag av träddeklar

Från Skogsstatistisk årsbok 2014 kan man tydligt utläsa att det finns stora arealer skog med omedelbart röjningsbehov (Tabell 1). Medeltalet för år 2011-2013 visar att det fanns ca 1,4 miljoner ha skogsmark med omedelbart röjningsbehov för olika huggningsklasser. Arealerna i fråga utgör potentiellt sätt en biomassa-resurs som kan bidra till att möta en eventuell ökning i efterfrågan av biobränslen. Trots den stora potentialen kom endast ca 2.6 TWh från klena röjnings- och gallringsstammar av Sveriges totala energitillförsel 2010.

Tabell 1. Areal skog (i 1000-tal ha) med omedelbart röjningsbehov fördelat på landsdel och huggningsklass. 3-års medeltal för perioden 2011-2013 (Källa: Skogsstatistisk årsbok 2014)

Table 1. Forest area (in 1000 hectares) with immediate need of pre-commercially thinned, distributed on region, maturity class. 3-year average, 2011-2013 (Source: Swedish statistical yearbook of forestry 2014)

Landsdel/Region	Huggningsklass ¹ /Maturity class ¹				Totalt
	B1	B2	B3	C1	
Norra Norrland	7	19	127	99	253
Södra Norrland	12	39	208	126	386
Svealand	23	58	185	103	370
Götaland	41	67	183	62	353
<i>3-årsmedeltal</i>					
2011-2013	83	184	703	390	1361

¹ **B1:** Plantskog med medelhöjd under 1,3 m.

Thicket stage with a mean height below 1,3 m.

B2: Ungskog med medelhöjd mellan 1,3 och 3 m.

Young forest with a mean height higher between 1,3 and 3 m.

B3: Ungskog med medelhöjd över 3 m och där mer än hälften av de härskande och medhärskande träden är klenare än 10 cm i brösthöjd.

Young forest with a mean height higher than 3 m and where more than half the dominant and co-dominant trees are thinner than 10 cm at breast height.

C1: Ogallrad skog där flertalet av de härskande och medhärskande träden är klenare än 20 cm i brösthöjd.

Thinning stands prior to thinning where the majority of the dominant and co-dominant trees are thinner than 20 cm at breast height.

System för uttag av träddeklar

Helträdsuttag från klena gallringar som ett bränslesortiment är något som blivit mer aktuellt de senaste åren speciellt då massaveds priser sjunker (Skogsstatistisk årsbok 2014). Vid uttag av skogsbränsle från gallringsbestånd finns en rad olika metoder att tillgå. Normalt sätt används standard skördare och skotare som basmaskiner vid biobränslegallring (Bergström et al. 2011). Skördaren är ofta utrustad med ett ackumulerande fällaggregat eller ett aggregat för flerträdshantering som även medgör bearbetning av stammarna. Skotare utrustad med gripsåg och komprimerande lastutrymme förekommer för att öka lastvikten vid transport till bilväg (Bergström 2009).

I en artikel av Bergström & Di Fulvio (2014) jämförs olika system för skörd av skogsbränsle i klena gallringsbestånd. Konventionella system för uttag av skogsbränsle som analyserades i artikeln var:

- Flerträdshantering för träddelexport, grovt kvistat
- Ackumulerande fällaggregat för uttag av träddelexport
- Ackumulerande fällaggregat för uttag av träddelexport kombinerat med korridorgallring
- Ackumulerande fällaggregat för uttag av träddelexport med bunningsenhet
- Flerträdshantering för uttag av grovt kvistade träddelexport med bunningsenhet

Buntningssystem

Buntningssystemet som studerades närmare kommer från ett finskt företag vid namn Fixteri. Företaget tillverkar buntningsmaskiner och den senaste modellen Fixteri FX15a inriktar sig mot buntning av klena träd från tidiga gallringsbestånd (Anon. 2014).

Fixteri konceptet består av en skördare (för närvarande Logman 811FC), buntningsenhet och flerträdshanterande aggregat (för närvarande Nisula 280E+). En nästan helt automatiserad buntningsenhet möjliggör att maskinföraren kan avverka träd samtidigt som buntar produceras (Björnheden & Nuutinen 2014). Fixteri buntar har en längd på ca 2,6 m, de förhållandevis stora buntarna underlättar lokalisering på avverkningsstrakten även under vinterförhållanden (Anon. 2014). De kompakta buntarna har fördelen att olika logistikkedjor kan tillämpas vid transport till slutanvändaren. Buntarna kan lagras på olika platser så som avverkningsplatsen, på avlägg vid bilväg, på terminal eller vid industri. Vid vägtransport kan buntarna transporteras med en vanlig timmerlastbil eller med en bioenergianpassad timmerbil med täckta sidor.

Flisning av buntar och träddelar

Vid flisning av buntade träddelar krävdes 15 % mindre effektiv tidsåtgång än vid flisning av enskilda träd (Nordfjell & Liss 2000). I studien en studie av Bergström et al. (2014) gjordes en tidsstudie för flisning av gröna (nyligen avverkade) buntade träddelar från en klen förstagallring. Flisningen genomfördes med en Doppstadt DH-910 och systemet som studerades klassificerades som ett ”hett” system. Totalt studerades systemet i 2,59 G₀-timmar (grundtid med avbrott <15 minuter) och den effektiva flisningstiden uppgick till 65,7% av G₀-tiden.

Kostnaden vid krossning/flisning vid terminal av Fixteri-buntar var 3 EUR per m³ rått material vilket motsvara ca 30 SEK per m³ rått material (Anon. 2014). Priset är oberoende av medelvolymer i träddelarna. Produktiviteten vid krossning av Fixteri-buntar varierade mellan ca 34-73 råton per G₀-timme. Produktiviteten varierade vid användande av olika typer av krossmaskiner.

Vid flisning av träddelar var produktiviteten för Biber 84-hugg 33,2 ton TS per G₀-timme (Eliasson et al. 2013). Sortimentet som användes i studien kom från normala förstagallringsbestånd och hade en uppskattad rotdiameter på ca 10-12 cm. Träddelarna täcktes med papp efter avverkningsenheten och flisades direkt i containrar. Det effektiva flisningsarbetet uppgick till ca 57 % av den totala arbetstiden och väntan på lastbil uppgick till ca 31 %.

Kvalitet för skogsbränsle

Den traditionella kvalitetsvariabeln för skogsbränsle är fukthalten i materialet (Nurmi & Hillebrand 2007). Andra kvalitetsvariabler såsom askhalten och värmevärdet nämns också i artikeln. Flisens storleksfördelning och andelen fina partiklar har stor påverkan på kvaliteten vid användandet i värmeverk (Nati et al. 2010). Vid förbränning i värmeverk kan en för stor andel stora flisbitar stoppa upp i inflödet vid förbränningen (Daugbjerg Jensen 2004). Flisens fraktionsfördelning beror till stor del på knivarnas kvalitet och inställningar i flishuggen (Eliasson et al. 2012).

Utveckling av leveranssystem för buntar

Generellt sätt vid olika typer av skogsbränsleuttag är det låga lastutnyttjandet ett stort problem. För att uppnå en hög produktivitet och låga kostnader vid uttag av träddelar från gallring är det viktigt att maximera lastutnyttjandet vid transport till avlägg (Kärhä 2006). Utöver höga drivningskostnader behöver tekniken och arbetsmetodiken utvecklas inom biobränslegallring för att öka lönsamheten i befintliga system (Bergström et al. 2010).

Vid en finsk studie av en buntningsmaskin var huvudsyftet att identifiera flaskhalsarna i processen buntning av träddelar för att underlätta vidare utveckling av systemet (Jylhä & Laitila 2007). Studien visar på att förbättringar i arbetstekniken, maskinstrukturen och komponenter har en avgörande roll för att öka lönsamheten i systemet. Det studerade buntningssystemet Fixteri har utvecklat och förbättrat sig på de aktuella punkterna och har uppvisat en stor förbättring i produktivitet och effektivitet (Nuutinen et al. 2011; Björnheden & Nuutinen 2014).

Nya skördaraggregat kombinerat med korridorgallring för helträdsuttag och mer effektivt lastutnyttjande kan kostnaderna vid biobränslegallring minskas med upp till ca 12 % (Bergström & Di Fulvio 2014). Effekterna märks främst på bestånd med högt stamantal och med låga medelvolymer.

Syfte

Behovet att studera flisning av buntar är stort då det finns en begränsad omfattning av studier inom ämnet.

Huvudsyftet med arbetet var att göra en tidsstudie för att mäta produktiviteten vid flisning av buntade lagrade träddelar samt att mäta kvalitet i form av fukthalt, fraktionsstorleksfördelning och askhalt på det producerade bränslet.

Följande frågeställningar som avsågs besvaras:

- Hur fördelningen av tidsåtgång såg ut för de olika arbetsmomenten i tidsstudien?
- Hur stor andel av buntarna som gick sönder vid hantering?
- Vad kostnaden för flisningen uppgick till?

MATERIAL OCH METODER

I maj 2014 genomfördes en biobränslegallring på Umeå kommuns mark i Holmsund (Bergström et al. 2014). Träddelarna från gallringen buntades och det gjordes tidsstudier på skotning och flisning. Efter genomförda studier transporterades kvarvarande buntar till Umeå kommuns terminal på Ersmarksberget. Det var dessa buntar som ingick i föreliggande studie. Vid studiens genomförande var buntarna inte täckta med papp.

Studiedesign

Studien utfördes i följande steg:

- Buntar av träddelar invägdes och uppdelades i olika högar
- Flisningsarbetet tidsstuderades, hög för hög
- Provtagning av flis för bestämning av flisens bränslekvalitet
- Analyser av flisprover
- Flisningssystemets produktivitet och kostnader analyserades

Invägning och uppdelning i högar

Dagen innan flisningen ägde rum vägdes buntarna med en kranbil utrustad med kranvåg. Totalt invägdes ca 75 ton buntat material som fördelades i 3 olika högar med ca 25 ton i vardera hög. Den uppmätta vikten varierade med +/- 500 kg. Varje hög bestod av ungefär 60-70 buntar. Vikten på varje enskild bunt varierade mellan 280-430 kg.



Figur 3. Hög 2 med buntade träddelar lagt i vältan inför tidsstudien

Foto: Jacob Gabrielsson

Figure 3. Pile 2 with bundled tree parts placed in stack before the time study

Flisningsarbetet tidsstuderades, hög för hög

Tisdagen den 10/3 genomfördes flisningsstudien. Tidsstudien genomfördes som en kontinuerlig studie.

Maskinföraren från Norrlandsjord Miljö AB informerades om studiens upplägg, detaljer angående tidsstudiens uppbyggnad samt syftet med studien diskuterades. Detta för att reda ut oklarheter samt att få en kontinuitet i studien. Därefter riggades kranbilen och flismaskinen av modell Doppstadt DH-910 efter första högens position. Samtliga buntar i hög 1 kunde nås från maskinens position. Efter genomförd flisning av första högen upprepades samma procedur för hög 2 och 3.

Vid varje hög positionerades kameran så att hela kranrörelsen kunde studeras i efterhand. Tidsstudien genomfördes med hjälp av en handdator med förprogrammerade arbetsmomenten: krancykelarbete (k), inmatning till hugg (m), störning (s) samt avbrott (a). Bokstäverna som anges i parantes var snabbkommandon i handdatorn.

Arbetsmomenten för flishuggens arbete hade definierats sedan tidigare och var följande:

- Krancykelarbete – Startar när kranen rörde sig från inmatningsbordets kant och slutar när den återkommit till startpunkten, detta är en krancykel.
- Inmatning – Startar då kranen passerade in över inmatningsbordets kant och slutar när den återkommit till startpunkten.
- Störning - Arbetet med buntar i krancykeln som ledde till tidsfördröjning. Exempel på detta kunde vara: buntar gick sönder, omgripning av bunt, städning av tappade träddeklar.
- Avbrott - Detta moment räknades som ej effektiv tid, dvs. då maskinen inte producerar. Exempel på detta kan vara reparation eller rast.
- Effektiv flisningstid - Med ett tidtagarur mättes den effektiva flisningstiden som var definierad till tiden då det kom flis från utblåset.

Starten av tidsstudien definierades till då maskinerna var uppställda, inmatningsbordet var nedfällt och gripen höll en bunt ovanför inmatningsbordet. Tiden då studien avslutades definierades till då kranbenen fälldes upp. En separat klocka mätte den totala tiden för studien.

Systemet som studerades klassificeras som ett kallt system då flisen blåstes direkt på marken istället för direkt i container. Materialet transporterades vid ett senare tillfälle till Dåva kraftvärmeverk för invägning och förbränning.

Provtagning av flis

Material som användes vid provtagning av flis var 30 stycken 5 liters hinkar med lock.

Från vardera hög togs 10 prover a` ca 5 liter per prov. Totalt för hela studien uppgick provmängden till ca 150 liter. För att få ett objektivt prov som speglade högens utseende med avseende på flisstorlek, fukthalt osv. togs en liten mängd flis vid varje prov, från 3 olika punkter på högen. De olika punkterna där flisproverna togs fördelades mellan botten, mitten och toppen samt på olika sidor av högen. Hinkarna med insamlad flis märktes med högnummer och provnummer. Lock lades på för att skydda proverna mot kontaminering. I väntan på analys av proverna förvarades hinkarna i ett tält med utomhustemperatur utanför Biobränsletekniskt Centrum (BTC).

Efter att varje hög flisats togs flisprover för bestämning av fukthalt, fraktionsstorlek samt askhalt.

Analyser av flisprover

Analys av fukthalt och fraktionsstorleksfördelning genomfördes på BTC. Även malning av flisprover och sedermera provneddelning till askhaltbestämning gjordes på BTC.

Material som användes vid BTC var ugn som var certifierad för fukthaltsanalys, analysvåg, Cisa fraktionsfördelare, kvarn samt provneddelare.

Ugnen på BTC innehöll 14 plåtar, varje plåt invägdes och nummererades. Varje enskilt flisprov spreds ut på en egen plåt då de skulle torkas i de följande analyserna.

Första steget av analyserna vid BTC var att väga in tre flisprover från varje hög (d.v.s. totalt nio flisprover) som skulle ingå i fraktionsfördelningstestet. Då ett sådant test genomförs bör fukthalten vara ungefär 15 % enligt svensk standard (SS-EN 15149-1:2010). Flisproverna invägdes i rätt tillstånd och placerades på plåtar i ugn med en temperatur på 65°C. Proverna torkades över natten och borde då innehålla önskad fukthalt på ca 15 % (Pers. kom Kalen). Efter torkning över natten vägdes flisproverna igen för att beräkna fukthalten i materialet. Vid genomförandet av fraktionsfördelningstestet användes Cisa fraktionsfördelare. Sällplåtarnas storlek, slaglängd, frekvens och sällningstid som används vid ett fraktionsfördelningstest är beskrivet i svensk standard SS-EN 15149-1. Enligt samma standard ska hålstorlekarna på sållen som används vara 63 mm, 45 mm, 16 mm, 8 mm, 3,15 mm samt spånlåda. De tomma sälltrumorna invägdes innan genomförandet av skaktestet. Ett förprogrammerat skakprogram inställt med oscillerande, slaglängd och frekvens som var anpassat till materialet användes och tiden per test uppgick till 15 min. Totalt kördes sex fraktionsfördelningstester med 7,5 liter flisprov per omgång. Efter genomfört skaktest vägdes sälltrumorna igen. Flisprovernas fördelning för varje sällstorlek kunde därefter bestämmas i procent av den totala vikten för flisproverna.

Resterande 21 råa flisprover invägdes i rätt tillstånd. Därefter torkades de i ugnen på 105°C under natten, detta enligt svensk standard (SS 187170) för bestämning av fukthalt. Efter torkning vägdes flisproverna för att kunna beräkna fukthalten i materialet.

Av de 14 torkade flisproverna från hög 1 och 2 som användes till fukthaltsanalysen slumpades 3 prover ut för att användas vid bestämning av askhalt. De 3 slumpade flisproverna som motsvarades av ca 15 liter maldes först ner grovt för att sedan malas ner till en finare fraktionsstorlek. En provfördelare användes för att minska ner det ca 15 liter stora provet till ca 1 liter.

Det finmalda provet som tillreddes på BTC transporterades till SLU för bestämning av askhalt. Askhaltsanalysen gjordes enligt svensk standard (SS 187171). Behållaren med det finmalda provet omrördes och vägdes upp i keramikskålar med ca 2 gram per skål. Vågen som användes var en analysvåg med kabinet. Totalt vägdes 4 prover in samt ett kontrollprov vars askhalt var känd sedan tidigare. Proverna torkades i ugn över natten i 105°C för att bli garanterat helt torra. Efter torkning vägdes proverna in ännu en gång för att sedan ställas i ugn med en temperatur på 550°C, för förbränning. Då proverna var genomskade, vägdes kärnen för att kunna bestämma askhalten i procent av torr vikt.

Produktivitet och kostnader analyserades

Studiens totala G_0 -tid var ca 1,4 h. Produktiviteten räknades ut för råton, ton torrs substans och MWh. Ungefärlig tidsåtgång (G_{15} -tid) för utnyttjande av flishugg och kranbil uppgick till ca 1,7 h. Kostnaderna för maskinerna var angivna i G_{15} -tid. Prislista enligt entreprenören Norrlandsjord Miljö AB.

Flishugg och kranbil: 3350 kr/ G_{15} -timme. Fast flyttkostnad för flishugg: 2500 kr

Beräkningar

Samtliga data analyserades i Microsoft Excel.

Tidsstudie

Rådata från handdatorn överfördes till Excel. Enheten för datat var centiminuter, för att konvertera till sekunder dividerades antalet centiminuter med 100.

$$\frac{\text{Centiminuter}}{100} = \text{Minuter}$$

Storleksfördelning

Efter kört skaktest vägdes andelen flis från varje såll och dividerades med den totala flisvikten från testet. På så sätt kunde den procentuella fördelningen av flisens storleksfördelning erhållas.

Fukthalt

Använd formel vid beräkning av fukthalt (FH) i procent:

$$FH (\%) = 100 - \left(\left(\frac{\text{torr vikt}}{\text{rå vikt}} \right) * 100 \right)$$

Askhalt

Använd formel vid beräkning av askhalt i procent:

$$\text{Askhalt } (\%) = \left(\frac{\text{ask massa}}{\text{torr massa}} \right) * 100$$

Torrs substans

Använd formel vid beräkning av ton torrs substans (ton TS):

$$\text{Ton TS} = (100 - FH) * \text{råvikt}$$

Värmevärde

För beräkning av det effektiva värmevärdet (W_{eff}) användes följande formel. Det effektiva värmevärdet för torr ved (W_a) som användes var 19,2 MJ/kg TS (Ringman, 1995).

$$W_{\text{eff}} = W_a - 2,45 \left(\frac{FH}{(100 - FH)} \right) [\text{MJ/kg TS}]$$

Övriga beräkningar

$$MWh = \frac{MJ}{3600}$$

RESULTAT

Studiens totala G_0 -tid uppgick till ca 1,4 timmar. Totala antalet studerade krancyklar var ca 200 stycken, tiden i genomsnitt per krancykel uppgick till ca 24 sekunder. Den effektiva flisningstiden uppgick till ca 1,12 timmar vilket motsvarar ca 82 % av G_0 -tiden.

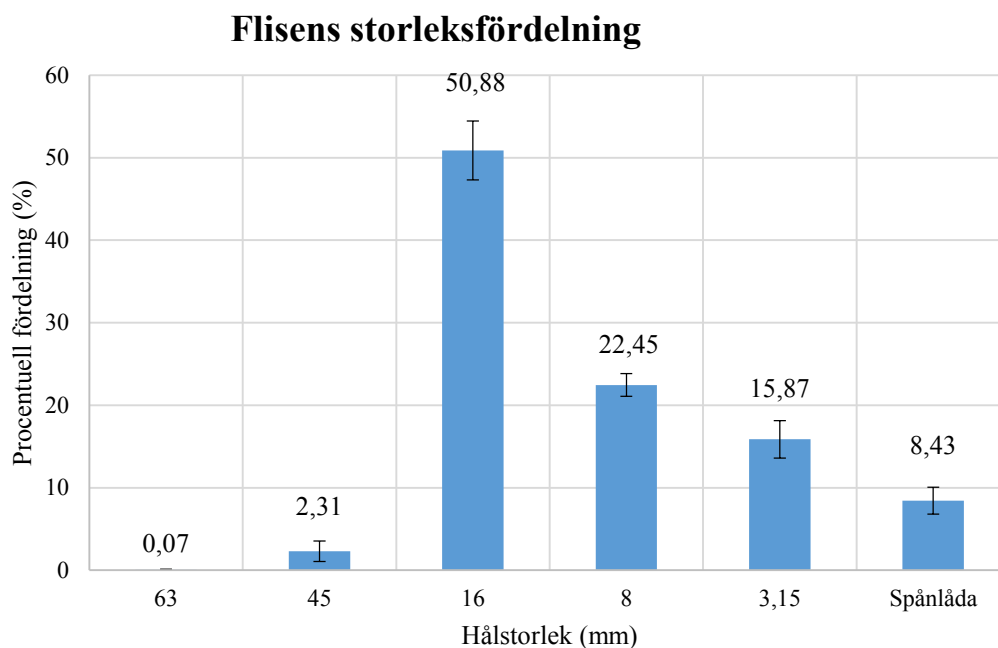
Arbetsmomentet som upptog den största tidsåtgången var krancykelarbete som stod i medeltal för ca 63 % av den totala G_0 -tiden. Medelvärde av de tre upprepningarna för detta arbetsmoment uppgick till ca 21 % av tiden per upprepning. Arbetsmomenten störning och inmatning stod för ca 10 respektive ca 28 % av den totala G_0 -tiden.

Antalet observationer i arbetsmomenten ”krancykelarbete” och ”störning” översätts till antalet buntar som hanterades. Exempelvis hög 1 hade 61 observationer för arbetsmomenten ”krancykelarbete” och ”störning” vilket motsvaras av ca 61 buntar. Andelen buntar som gick sönder eller var skadade sedan tidigare hantering och därmed medförde tidsfördröjning av krancykelarbetet uppgick till ca 9 % av totala antalet hanterade buntar.

Tabell 2. Tidsåtgång per arbetsmoment i procent av effektiv tid. Medelvärde och standardavvikelse (SD)
Table 2. Time consumption per work cycle in percent of effective time. Mean and standard deviation (SD)

Högnummer	Krancykelarbete (%)	Störning (%)	Inmatning (%)
1	18,2	4,9	8,0
2	22,5	3,2	9,1
3	21,8	1,8	10,4
Medelvärde	20,8	3,3	9,2
SD	2,3	1,6	1,2

Flis med storlekarna >63 och 63-45 mm stod för en ytters låg andel. Störst andel flis, ca 51 % i medeltal, återfanns i storlekarna 45-16 mm. Andelen flis sjönk markant från storlek 45-16 mm till 16-8 mm som i medeltal innehöll ca 22 % av den totala flismängden. Därefter sjönk fördelning relativt jämnt för de resterande sållstorlekarna (figur 4).



Figur 4. Flisens storleksfördelning efter genomfört skaktest med Cisa fraktionsfördelare med angivet medelvärde i procent och standardavvikelse.

Figure 4. Chips size distribution after performed test with Cisa sieve shaker with mean in percent and standard deviation.

Fukthalten för flisproverna var i medeltal 47,43 %, värdet för hög 1 var något högre (49,67 %) och något lägre för hög 2 (46,23%) och 3 (46,40 %). Standardavvikelsen för fukthaltsprovtagningen uppgick till ca 1,94.

Askhalten varierade mellan ca 1,03 och 1,12 för de olika proverna. Medelaskhalten för proverna beräknades till 1,07.

Tabell 3. Askhalt i % för prov 1-4 samt kontrollprov med känd askhalt. Medelvärde och standardavvikelse (SD) exklusive kontrollprov

Table 3. Ash content in % for sample 1-4 and control sample with known ash content. Mean and Standard deviation (SD) excluding control sample

Provnummer	Askhalt (%)
1	1,128
2	1,058
3	1,031
4	1,068
Medelvärde	1,071
SD	0,041
Kontroll	1,209

Tabell 4. Effektivt värmevärde (W_{eff}) för högarna 1,2,3 samt medelvärden och standardavvikelse (SD)
Table 4. Effective heating value (W_{eff}) for pile 1,2,3. Mean and standard deviation (SD)

Högnummer	Medelfukthalt (%)	W _{eff} (MJ/kgTS)
1	49,67	16,78
2	46,23	17,09
3	46,40	17,08
Medelvärde	47,43	16,98
SD	1,94	0,18

I medeltal innehöll högarna ca 13,2 ton torrsubstans och ca 62 MWh (tabell 5). Totalt innehåller högarna tillsammans ca 40 ton TS och ca 187 MWh enligt beräkningarna.

Tabell 5. Antal råton, ton torrsubstans och energiinnehållet i form av MWh för de 3 högarna samt total, medelvärden och standardavvikelse (SD)

Table 5. Amount raw ton, ton dry substance and energy content in form of MWh for the 3 piles. Total, mean and standard deviation (SD)

Högnummer	1	2	3	Totalt	Medel	SD
Råton +/- 500						
kg	25	25	25	75	25	0
Ton TS	12,85	13,44	13,40	39,70	13,23	0,33
MWh	59,91	63,83	63,57	187,31	62,44	2,19

Inmätta värden från Dåva kraftvärmeverk för råton flis var ca 71,5, för m³ fub och MWh var det ca 89,5 respektive ca 202.

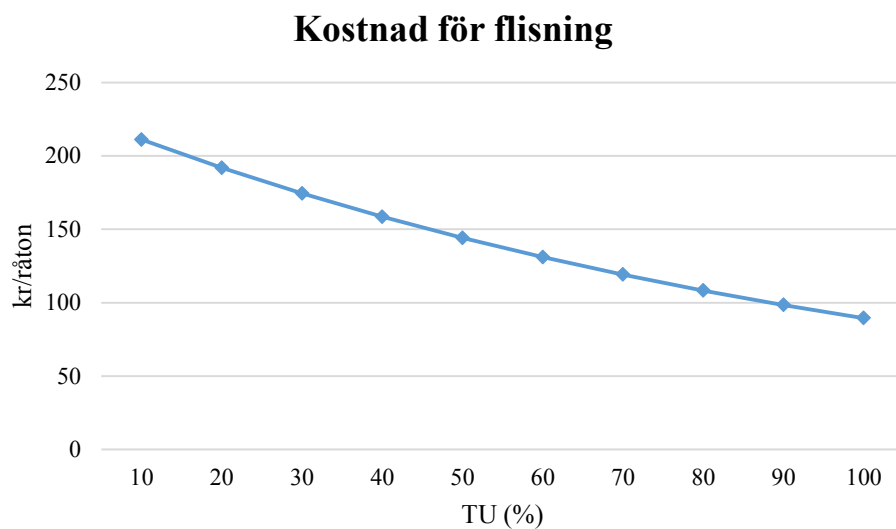
Produktiviteten räknades ut per G₀-timme med olika variabler som grund: råton, ton torrsubstans och MWh (tabell 8).

Tabell 6. Produktiviteten för flisningsarbetet per G₀-tid för hög 1,2,3 beräknat för råton, ton torrsubstans och MWh. Medelvärde och standardavvikelse för produktiviteten

Table 6. Productivity of the chipping work per G₀-time for pile 1,2,3 for raw ton, ton dry mass and MWh. Mean and standard deviation for the productivity

	Högnummer				
Produktivitet	1	2	3	Medel	SD
Råton	58,69	52,36	53,61	54,88	3,35
TonTS	30,17	28,15	28,73	29,02	1,04
MWh	140,64	133,67	136,32	136,88	3,52

Kostnad för flisning per råton uppgick till ca 108 SEK, ton torrs substans till ca 204 SEK och m³ fub till ca 91 SEK vid en teknisk utnyttjandegrad (TU) på 82 %.



Figur 5. Uppskattad kostnad för flisning per råton för olika teknisk utnyttjandegrad (TU)
Figure 5. Estimated cost for chipping per raw ton for degrees of technical utilization (TU)

DISKUSSION

Efter invägning av buntarna placerades de på hög i rad efter varandra. Det medförde en enkel förflyttning av kranbil och flishugg då en ny hög skulle flisas. Uppläggningsen av flishögarna hade sett annorlunda ut om studien hade involverat flisning i containrar, vilket kräver betydligt mer utrymme (Bergström et al. 2014). Planeringen kring rangeringen av bunthögarna och maskinerna blir betydligt smidigare i systemet vi studerade än de som involverar containrar och växelbil.

Maskinföraren kan vid flisning ha tagit mer än en bunt per krancykel vilket noterades vid ett fåtal tillfällen. Precisionen vid gripning av buntar var svår på grund av att buntarna hade fastnat i varandra. Det innebär att antalet observerade krancyklar egentligen inte kan likställas med antalet hanterade buntar. Eftersom det enbart skedde vid ett fåtal tillfällen ger det en ungefärlig uppskattning av antalet hanterade buntar.

Arbetsmomentet ”störning” är egentligen en del av ”krancykelarbete” men indikerade då tidsfördröjning uppstod som följd då en bunt exempelvis gick sönder, därför skiljs de åt i tabell 2. Maskinföraren som vägde in och placerade ut buntarna i högar var uttalat selektiv vid val av buntar vilket innebar att buntar som var i dåligt skick inte togs med i försöket. Detta medförde troligtvis att buntarna som ingick i försöket höll en högre kvalitet vid hantering än vad som var representativt för buntarna i helhet. Maskinföraren som genomförde flisningen av buntarna ansåg att de var i bra skick för att hanterats så pass många gånger.

Vältorna med buntar på Ersmarksbergsterminalen var vid studiens genomförande oskyddade dvs. ej täckta med papp. Vid invägningen togs buntarna till hög 1 från de översta lagerna i den stora ursprungsvältan. Hög 2 och 3 innehöll buntar från mitten och undre delen av ursprungsvältan. I resultatdelen kan man utläsa medelfukthalten för de olika högarna och konstatera att det finns en tydlig skillnad mellan fukthalten från hög 1 jämfört med fukthalterna från de andra högarna. Vår teori är att buntarna från det översta lagret var betydligt fuktigare pga. yttre faktorer.

Tidsstudien var en kontinuerlig tidsstudie med tre upprepningar. Fördelen med att ha upprepningar i försöket är att om något går fel så finns det fortfarande upprepningar kvar att studera. Datat från varje upprepning kunde därefter jämföras med varandra samt att medelvärden kunde beräknas. Hela studien filmades från en vinkel där man kunde se hela krancykelarbetet. Detta gjordes för att vid behov, i efterhand kunna undersöka osäkerheter som rörde de olika arbetsmomenten i tidsstudien. Det filmade materialet behövdes aldrig användas.

Optimalt skulle tidsstudien även involverat tiden för förflyttning av maskinerna samt riggning. I planeringsstadiet av studien borde vi planerat för att involvera även dessa moment. Planeringsstadiet innefattade definiering av de arbetsmoment som skulle ingå i tidsstudien av flishuggen. Detta har påverkat studien på så sätt att G_{15} -tiden som är underlag för kostnadsberäkningen hade kunnat beräknas exakt. Kostnadsberäkningen i rapporten för flisning baseras på en ungefärlig uppskattad G_{15} -tid.

Vid bestämning av flisens storleksfördelning skall materialet optimalt hålla en fukthalt på ca 15 % enligt standard (SS-EN 15149-1:2010). Vid körningen av fraktionsfördelningstestet låg fukthalten i medeltal på ca 1,5 % vilket är markant lägre än det optimala värdet. Den låga fukthalten kan ha påverkat fraktionsfördelningstestet på så sätt att flisens hållbarhet försämrats. Lägre hållbarhet av flisen kan medföra att bitar går sönder under testet vilket ger missvisande värde vid beräkning av andelen flis från de olika sällstorlekarna. För att erhålla

ett rättvisande resultat av ett fraktionsfördelningstest bör mängden flis som körs inte överstiga ca 8 liter, givetvis beroende på fraktionsfördelarens storlek. Trots att vi endast körde ca 7,5 liter per test upplevde vi att flis som borde falla ner till nästa sällstorlek ofta fastnade på nivån ovan. Speciellt uppmärksammade på detta blev vi då sällstorlek 16 mm vägdes. Trots de felkällor som angivits ovan i samband med fraktionsfördelningstestet är vi ense om att fördelningen som beräknats i figur 4 speglar flisprovernas storleksfördelning rättvist. Detta efter att ha studerat tidigare rapporter som undersökt flisens fraktionsfördelning efter flisning (Eliasson et al. 2012; Eliasson et al. 2013).

I ugnen på BTC fick det plats 14 plåtar som motsvarades av 14 prov med flis. För att undvika att blanda ihop flisproverna vid fukthaltsanalys torkades flisproverna från hög 1 och 2 först. När de var torkade och klara fördes flisproverna från hög 3 in i ugnen. Istället för att vänta på att flisproverna från hög 3 skulle torka färdigt, beslutade vi enbart att mala flisprover från hög 1 och 2. Askhaltsbestämningen som redovisas i tabell 3 är därmed enbart baserad på material från hög 1 och 2. Samtliga buntar har samma ursprung och bör därför inte ha påverkat resultatet nämnvärt.

För att kontrollera att de malda proverna förbrändes korrekt vid askhaltsbestämningen förbrändes våra prover tillsammans med ett kontrollprov. Kontrollprovets askhalt bör då ligga inom 1,18 till 1,26 %, kontrollprovet hade i detta fall en askhalt på 1,2088 %, vilket är inom ramen för ett godkänt prov. Askhalten på proverna skiljde som mest 0,09 % mellan det största och minsta värdet, vilket tyder på att proverna är relativt jämna.

Det effektiva värmevärdet är beroende av fukthalten i materialet man undersöker. Därmed erhålls ett lägre värmevärde för hög 1 då fukthalten var som högst i denna hög (tabell 4). Som tidigare nämnts bero fukthalten på buntarnas placering i den stora ursprungsvältan. Därmed erhålls olika effektiva värmevärde för det flisade materialet.

De inmätta värdena från Dåva kraftvärmeverk visar att uträkningarna från tabell 5 är något underskattade vid jämförelse med vad som inmättes vid industri. Enligt våra beräkningar får man ut ca 187 MWh totalt från de 3 högarna medan det inmätta värdet vid industri i MWh uppgick till ca 202. Skillnaden kan förklaras med att Dåva Kraftvärmeverk vid inmätning använt sig av ett högre effektivt värmevärde för torr ved (W_a). Om så är fallet ökar energimängden och sedermera antalet MWh. En annan orsak till skillnaden kan vara bestämningen av fukthalten i materialet. Under provtagningen av flis för bestämning av fukthalten var vi objektiva och tog 10 flisprover per hög. Medelvärden för fukthalterna användes i våra beräkningar av det effektiva värmevärdet. Vid inmätning vid industri är vår hypotes att endast stickprov togs för bestämning av fukthalt. Vid en lägre fukthalt i flisen erhålls ett högre effektivt värmevärde.

Figur 5 som visar kostnad för flisning per råton för olika TU är baserad på kostnaden från vår flisningsstudie. I grafen förutsätts att kostnaden ökar med 10 % vid ett minskat TU på 10 %. Figuren ska därför ses som ett exempel för hur TU påverkar kostnaden vid flisning för det aktuella systemet. Med bättre maskiner och mer lätthanterligt material såsom buntade träddeklar kan öka TU. Med ett högre TU minskar kostnaderna för flisning exponentiellt.

Arbetsmomentet som upptog den största tidsåtgången vid flisningen var ”krancykelarbete” som stod för ca 63 %. Läger man till momentet ”störning” uppgår totala kranarbetet till ca 73 %. Detta innebär att om samtliga buntar varit intakta vid hanteringen hade tidsåtgången för det totala kranarbetet minskat med ca 10 %. Vid en minskning av tidsåtgången med 10 % skulle den tekniska utnyttjandegraden öka från ca 82-92 %. Kostnaden för flisningen skulle då bli ca 11 % billigare per råton flisat material. Uträkningen förutsätter att flishuggens kapacitet klarar av ökningen i TU.

Systemet vi studerade klassificerades som ett ”kallt” system och flisen blåstes direkt på marken. I system där man blåser flisen direkt i container är man beroende av en lastväxlarbil som ska betjäna flishuggen med containrar (Eliasson et al. 2013; Bergström et al. 2014). Ofta är det dessutom lastväxlarbilen som levererar containrar till värmeverket löpande. Väntan på container och lastbil är två moment som innebär att flishuggen står stilla. Flishuggens TU blir därmed lägre för dessa system. Nackdelen då flisen blåses direkt på marken är risken för kontaminering dels under lagringstiden och dels då flisen ska lastas i container.

I Eliasson et al. (2013) var produktiviteten vid flisning av träddelar för ton torrsubbans ca 4 ton TS högre än vad som erhöles i vår studie av buntade träddelar. Skillnaden i produktivitet beror troligtvis till stor del på sortimentet som flisades. Träddelarna höll en större volym för varje enskilt träd än vad träddelarna i buntarna gjorde. Skillnaden i produktivitet beror troligtvis även på flishuggens kapacitet samt frekvensen vid inmatning.

Flisningsförsök av buntade träddelar för mätning av produktivitet finns endast i en begränsad omfattning. Resultaten som erhållits från studien kommer kunna användas vid utökade kostnadsberäkningar för biobränslesystem och kan då användas för att jämföra olika system. För att öka lönsamheten i de olika biobränslesystemen (från skog till värmeverk) är det viktigt att information finns om de olika delsystemen exempelvis biobränslegallring och flisning. Denna information behövs för att kunna identifiera flaskhalsarna och på så sätt veta var biobränslesystemet behöver effektiviseras för att uppnå ökad lönsamhet. Vår studie är relativt småskalig sett till antal ton som flisades vilket är en begränsning om vår studie ska jämföras med en framtida studie. På marknaden finns ett antal flishuggar som skiljer sig åt i kapacitet och storlek. Därför är det svårt att jämföra olika flishuggar med varandra.

Vid framtida studier hade det varit intressant att jämföra flisning av buntade träddelar med flisning av träddelar som kommer från samma avverkningstrakt. I en sådan studie hade det varit lätt att identifiera om produktiviteten och effektiviteten höjs vid just flisning av buntat material. Utifrån tidsstudiens resultat hade man kunnat dra tydliga slutsatser att exempelvis kranarbete och inmatning underlättas och kräver mindre tidsåtgång vid flisning av buntat material. Flisningsstudien bör genomföras vid terminal eller värmeverk då buntningssystemet är utvecklat för att minska transportkostnaderna främst vid lastbilstransport.

Slutsats

Som tidigare skrivits finns det ett stort behov av en ökad kunskap inom flisning av buntade träddelar. För att vidare kunna utveckla systemet krävs fler studier inom det aktuella ämnet. I allmänhet är det svårt att jämföra olika flisningssystem med varandra då många olika faktorer spelar in vid beräkning av produktivitet och flisens bränslekvalitet. Vår erfarenhet från studien är att flishuggens kapacitet, maskinförarens erfarenhet samt materialet som flisas är exempel på detta. Flisning av skogsbränsle är en stor kostnadspost och påverkar därmed lönsamheten för hela skogsbränslesystemet (Eliasson et al. 2012).

Produktiviteten som uppmättes i vår studie ligger inom samma intervall som liknande studier uppnått (Eliasson et al. 2013; Anon. 2014). De angivna variablerna för bränslets kvalitet analyserades och jämfördes med liknande studier. Fraktionsfördelningen från vår studie följer ungefär samma mönster som tidigare studier (Eliasson et al. 2012; Eliasson et al. 2013).

Studien indikerar att buntarnas hållbarhet vid hantering är en påverkande faktor för kranarbetets effektivitet. En minskad effektivitet av kranarbetet ökar kostnaden för flisningen.

Referenser

- Anon. (2014). Competitiveness of the Fixteri technology, final report. Pöyry Management Consulting Oy.
- Bergström, D. 2009. Techniques and systems for boom-corridor thinning in young dense forests. Doctoral thesis. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae 2009:87.
- Bergström, D., Ulvcróna, T., Nordfjell, T., Egnell, G., & Lundmark, T. (2010). Skörd av skogsbränsle i förstagallringar. Arbetsrapport 281. Umeå
- Bergström, D. Di Fulvio, F. Kons, K. Nordfjell, T. (2011). Skörd av övergrov salix med skogsbruketsmaskiner. Arbetsrapport 334 2011.
- Bergström, D., Fernandez Lacruz, R., Forsman, M., Lundbäck, J., Nilsson, Å. & Bredberg, C. (2014). Skog, Klimat och Miljö, ett projekt i Norr- och Västerbotten 2012-2014. Slutrapport: 39-47.
- Bergström, D. Di Fulvio, F. (2014). Comparison of the cost and energy efficiencies of present and future biomass supply systems for young dense forests. Scandinavian Journal of Forest Research, DOI: 10.1080/02827581.2014.976590
- Björnheden, R. Nuutinen, Y. (2014). Studie av Fixteri FX15a klenträdsbuntare. Arbetsrapport från Skogforsk nr. 819-2014.
- Daugbjerg Jensen, P. Mattsson, J-E. D. Kofman, P. Klausner, A. (2004). Tendency of wood fuels from whole trees, logging residues and roundwood to bridge over openings. Biomass and Bioenergy 26 (2004) 107 – 113
- Egnell, G. & Skogsstyrelsen. (2013). Skogsskötselserien nr 17, Skogsbränsle.
- Eliasson, L. Lombardini, C. Lundström, H. Granlund, P. 2013. Eschlböck Biber 84 flishugg, prestation- och bränsleförbrukning – Rangering av fliscontainrar med en John Deere 1410 containerskyttel. Arbetsrapport 810-2013 Skogforsk.
- Eliasson, L. Granlund, P. Johannesson, T. von Hofsten, H. Lundström, H. (2012). Flisstorlekens effekt på en stor skivhuggs bränsleförbrukning och prestation. Arbetsrapport 776-2012 Skogforsk.
- Energimyndigheten. (2014). Kortsiktsprognos Över energianvändning och energitillförsel år 2014-2016, ER 2014:14. Energimyndigheten.
- Europeiska kommissionen. (2015). [Online] tillgänglig: http://ec.europa.eu/europe2020/europe-2020-in-a-nutshell/targets/index_sv.htm. [2015-02-10]
- Gode, J., Roth, S., Gustavsson, M., Wolf, C., & Lindblom, E. (2012). Framtidens miljöfrågor för energisektorn. Elforsk rapport 12:25. [Online] Tillgänglig: <http://www.svenskenergi.se/Global/Dokument/Milj%C3%B6%20och%20klimat/Elforsk-Framtidens-miljofragor-for-energiesektorn.pdf>.
- Jylhä, P. & Laitila, J. (2007). Energy wood and pulpwood harvesting from young stands using a prototype whole-tree bundler. Silva Fennica 41(4): 763–779.
- Kalen, G. Driftledare Biobränsletekniskt Centrum, SLU, 2015-03-10. Erfarenhet vid bestämning av fukthalt.

- Kärhä, K. (2006). Whole-tree harvesting in young stands in Finland. *Forestry Studies, Metsanduslikud Uurimused* 45: 118–134.
- Liss, J.-E. (2004). Avverkningsvolymer och netton i tidig gallring vid alternativen skogsbränsle eller massaved. Garpenberg: Institutionen för Matematik, naturvetenskap och teknik, Högskolan i Dalarna. Arbetsdokument nr. 4
- Nati, C. Spinelli, R. Fabbri, P. (2010). Wood chips size distribution in relation to blade wear and screen use. *biomass and bioenergy* 34 (2010) 583 – 587
- Naturvårdsverket. (2014). Miljömålen årlig uppföljning av Sveriges miljökvalitetsmål och etappmål 2014, rapport 6608. Bromma: Naturvårdsverket.
- Nordfjell, T. Liss, J.-E. (2000). Compressing and Drying of Bunched Trees from a Commercial Thinning *Scandinavian Journal of Forestry Res.* 15: 284–290, 2000
- Nurmi, J. & Hillebrand, K. (2007). The characteristics of whole-tree fuel stocks from silvicultural cleanings and thinnings. *Biomass and Bioenergy* 31: 381-391.
- Nuutinen, Y., Kärhä, K., Laitila J, Jylhä P, Keskinen S. (2011) Productivity of whole-tree bundles in energy wood and pulpwood harvesting from early thinning. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 26:4, 329-338.
- Regeringskansliet. (2014). Sweden's national reform programme 2014 Europe 2020 – the EU's strategy for smart, sustainable and inclusive growth. Stockholm: Regeringskansliet.
- Ringman, M. (1995). Trädbränslesortiment - definitioner och egenskaper. Fakta skog nr. 5.
- Skogsstyrelsen. 2008. Skogliga konsekvensanalyser 2008. SKA-VB 08. Rapport 25. Långsiktiga konsekvenser av olika sätt att sköta och bruka den svenska skogen. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Svensk standard. (1984). Biobränslen – Bestämning av askhalt. Svensk standard SS 187171
- Svensk standard. (1997). Biobränslen och torv - Bestämning av total fukthalt. Svensk standard SS 187170.
- Svensk standard. (2010). Fasta biobränslen - Bestämning av partikelstorleksfördelning - Del 1: Metod - Oscillerande såll med hålstorlek 1 mm och större. Svensk standard SS-EN 15149-1:2010.